

## **ВІДГУК ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА**

доктора технічних наук, професора Русина Богдана Павловича, завідувача відділу методів та систем дистанційного зондування Фізико-механічного інституту ім. Г.В. Карпенка Національної академії наук України на дисертаційну роботу Ващишина Любомира Володимировича на тему «Виявлення сигналів дефектів при магнітодинамічній діагностиці залізничних рейок шляхом використання вейвлет-перетворень та нейронних мереж», представлену на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук зі спеціальності 05.12.17 – радіотехнічні та телевізійні системи.

### **Актуальність теми дисертаційної роботи**

Основним джерелом інформації про стан залізничних рейок є сигнали отримані в результаті неруйнівного контролю (НК), в основному, за допомогою систем ультразвукової та магнітодинамічної дефектоскопії. В даний час, виявленням дефектів залізничних рейок займаються оператори вагонів-дефектоскопів, які візуально, переглядаючи записи сигналів, роблять експертні висновки про наявність дефекту. Незважаючи на численні науково-дослідні роботи, які ведуться в багатьох країнах з автоматизації цього процесу, дана задача ще до кінця не розв'язана.

Подальший розвиток магнітодинамічної дефектоскопії залежить від успішного вирішення певного протиріччя: виявлення дефектів на ранніх стадіях їх розвитку із забезпеченням високої достовірності результатів контролю (наприклад, шляхом залучення додаткових даних з інших методів НК) – з одного боку, та скорочення часу на діагностичне обстеження в умовах різноманітних завод – з іншого. Це вимагає залучення сучасних засобів цифрової обробки сигналів та розробки прикладних програм для автоматичного виявлення і попередньої класифікації сигналів від небезпечних дефектів рейок. Тема дисертаційної роботи є актуальною, оскільки від якості діагностики залізничних рейок залежить безпека руху пасажирських і товарних поїздів.

### **Загальна характеристика роботи**

У вступі сформульовано наукову задачу дисертаційного дослідження,

обгрунтовано актуальність теми, сформульовано мету та науково-технічні завдання, необхідні для її досягнення, показано зв'язок дослідження з науковими програмами та темами, наведено основні наукові результати дисертаційної роботи та їх практичне значення. Представлено відомості про апробацію роботи та дані про особистий внесок здобувача в працях у співавторстві.

**У першому розділі** розглянуто ультразвуковий, магнітодинамічний, імпульсний вихрострумний, автоматизований візуальний та гібридний методи неруйнівного контролю стану рейок. Проведено загальне порівняння вищезгаданих методів НК з позиції основних переваг, обмежень та недоліків їх застосування в дефектоскопії залізничних рейок. Зроблено досить повний та детальний огляд праць вітчизняних та закордонних вчених присвячених розвитку магнітодинамічної дефектоскопії залізничних рейок в напрямках удосконалення системи намагнічування, пристроїв відбору, реєстрації та виявлення сигналів від дефектів. Здійснено опис магнітного вагона-дефектоскопа № 442 Львівської залізниці та дефектів, які ним виявляються.

**Другий розділ** роботи присвячено дослідженню характеристик дефектоскопічних сигналів від найпоширеніших дефектів головки рейки та регулярних елементів залізничного шляху, таких як рейкові підкладки, накладки, стик, зварне з'єднання. Проведено підготовку даних, отриманих вагоном-дефектоскопом, для подальшого аналізу в програмному середовищі MATLAB. В кінці другого розділу здійснено порівняння методів цифрової обробки сигналів, які можуть бути використані при аналізі сигналів магнітодинамічної дефектоскопії залізничних рейок.

**У третьому розділі** описано алгоритм створення материнського вейвлету для неперервного вейвлет-перетворення (НВП) на основі сигналу від поперечної тріщини в головці рейки та зроблено висновок про можливість застосування цього алгоритму при побудові материнських вейвлетів для інших типів дефектів. Проведено аналіз дефектоскопічного сигналу з використанням створеного вейвлету та сформульовано перелік рекомендацій для виявлення сигналів від дефектів залізничних рейок за допомогою НВП.

**В четвертому розділі** роботи висвітлено переваги та недоліки застосування дискретного вейвлет-перетворення (ДВП) при аналізі та обробці дефектоскопічних сигналів. Було здійснено розклад

дефектоскопічного сигналу за допомогою ДВП на апроксимуючу складову та чотири складові деталізації, що дало змогу встановити пороги на вейвлет-коефіцієнти деталізації та тим самим очистити сигнал від непотрібних високочастотних складових. Ця операція вносить певні спотворення форми сигналу від дефектів, а тому її використання повинно бути аргументованим. Зроблено висновок, що використання ДВП для виявлення сигналів від дефектів є достатньо обмеженим, так як для аналізу необхідно вибирати існуючий (а не створювати адаптований до певного виду дефекту) вейвлет.

В п'ятому розділі здійснено опис процесу побудови штучної нейронної мережі (ШНМ) для автоматичного виявлення сигналів від поперечної тріщини в головці рейки. Було здійснено вибір типу мережі та необхідних даних для навчання, визначено достатню кількість прихованих шарів та нейронів, розглянуто можливі функції активації та методи для навчання мережі. Наведено блок-схему функціонування програми для виявлення сигналів від дефектів залізничних рейок та її інтерфейс користувача. В розділі представлено достатню кількість ілюстрацій та є посилання на код розробленого програмного забезпечення, який розміщено в додатку.

#### **Ступінь обґрунтованості наукових положень і достовірність результатів.**

Ступінь обґрунтованості наукових положень та достовірність результатів підтверджується коректним використанням теорії сигналів та методів їх цифрової обробки, методів моделювання та навчання штучних нейронних мереж, а також комп'ютерного моделювання з використанням прикладних пакетів MATLAB.

#### **Наукова новизна дисертаційної роботи**

Основні результати роботи, які визначають її наукову новизну та виносяться на захист:

1. Вперше запропоновано материнську вейвлет-функцію для НВП на основі дефектоскопічного сигналу від поперечної тріщини в головці рейки, яка відрізняється від відомих більш точною локалізацією дефектних сигналів за часом та масштабом. Це дало змогу в 2 рази збільшити чутливість магнітодинімічного методу діагностики залізничних рейок.

2. Вперше запропоновано метод опрацювання дефектоскопічних сигналів на основі НВП та ШНМ, який відрізняється від відомих можливістю виявлення сигналів з різною кількістю відліків, що дало змогу автоматизувати процес виявлення дефектів різної протяжності (наприклад, поздовжнє горизонтальне розшарування головки рейки та розвинута поперечна тріщина).

3. Удосконалено метод виявлення сигналів від поперечної тріщини в головці рейки при магнітодинамічній діагностиці залізничних рейок, який, на відміну від існуючих, забезпечує виявлення дефектів на початкових етапах їх розвитку, починаючи зі співвідношення сигнал/шум 1,5 (імовірність правильного виявлення – 92%), що уможливило вчасне виявлення та моніторинг розвитку небезпечних дефектів.

#### **Зв'язок дисертаційної роботи з науковими програмами, планами, темами**

Результати теоретичних і практичних досліджень, які наведені в дисертаційній роботі, одержані автором у Фізико-механічному інституті ім. Г.В. Карпенка Національної академії наук України та Національному університеті «Львівська політехніка» Міністерства освіти і науки України.

В Фізико-механічному інституті ім. Г.В. Карпенка Національної академії наук України автор брав участь, як виконавець, у виконанні НДР Національної академії наук України, які виконувалися у відділі відбору і обробки стохастичних сигналів: "Дослідження методів відбору і опрацювання діагностичних сигналів при багатокомпонентній магнітній дефектоскопії залізничних рейок" (2010 р., номер державної реєстрації 0110U000435), "Розробка методів аналізу і обробки багатомірних сигналів зі стохастичною повторюваністю та створення вимірювальних систем для вібродіагностики" (2011-2013 рр., номер державної реєстрації 0110U000433), "Розробка методів і засобів багатомірного спектрального аналізу періодичних нестационарних стохастичних коливань для задач технічної діагностики" (2013-2015 рр., номер державної реєстрації 0113U000304).

В Національному університеті "Львівська політехніка" автор брав участь, як виконавець, у виконанні НДР Міністерства освіти і науки України, які виконувалися на кафедрі радіоелектронних пристроїв та систем: "Розроблення і дослідження малогабаритних компонентних давачів та

методик опрацювання інформаційних сигналів для діагностики залізничної колії" (2015-2016 рр., номер державної реєстрації 0115U000434), "Розроблення і дослідження методів достовірного виявлення, опрацювання та класифікації дефектів при магнітодинамічній діагностиці залізничних рейок" (2017-2018 рр., номер державної реєстрації 0117U004453).

### **Практична цінність результатів та їх подальше використання**

1. Практична цінність результатів полягає у розробленні низки алгоритмів, методик та програмних засобів, які можуть застосовуватись в магнітодинамічній дефектоскопії залізничних рейок.

2. Акти впровадження результатів підтверджують використання наукових положень, висновків і рекомендацій у держбюджетних науково-дослідних роботах, навчальному процесі Національного університету «Львівська політехніка» та в роботі магнітного вагона-дефектоскопа № 442 Львівського центру діагностики залізничної інфраструктури.

3. Подальше використання результатів дисертаційного дослідження є доцільним в університетах, на кафедрах, які займаються розробленням та впровадженням навчальних курсів з методик опрацювання інформаційних сигналів, а також безпосередньо на вагонах-дефектоскопах, які реалізують магнітодинамічний метод неруйнівного контролю залізничних рейок.

### **Оформлення дисертації та автореферату**

Дисертаційну роботу викладено на 185 сторінках, з них 120 сторінок основного тексту, 73 рисунки та 2 таблиці. Дисертація містить вступ, п'ять розділів, висновки, список використаних джерел та три додатки, в яких наведено код розробленого програмного забезпечення, акти про впровадження та використання результатів дисертаційної роботи, список наукових праць автора.

Текст дисертації логічно структурований. Графічний матеріал доповнює зміст роботи. Оформлення дисертації відповідає вимогам, що пред'являються до дисертаційних робіт. Автореферат достатньо повно та точно розкриває зміст дисертації та об'єктивно відображає основні її результати. Автор, в цілому, коректно використовує наукову термінологію та термінологію, яка сформувалася у предметній області.

### **Зауваження до дисертаційної роботи**

1. Не зрозуміло чому опис основних понять перетворення Фур'є та вейвлет-перетворення описані у другому, а не першому розділі дисертації.
2. Віконне перетворення Фуре (2.4) було запропоновано іншими ученими задовго до статті [53].
3. У підрозділі 3.2.1, який присвячений моделі сигналу від поперечної тріщини не наведена модель і не показано чим вона відрізняється від відомих.
4. У підрозділі 3.2.5. говориться про порівняння точності виявлення локальних особливостей тестового сигналу, проте не наведені кількісні оцінки, які б свідчили про переваги запропонованих підходів.
5. На рис. 3.13 представлено блок-схему, а не алгоритм створення вейвлет функції для неперервного вейвлет-перетворення.
6. На рис. 4.2-4.3 не наведені розмірності по осях.
7. Не зрозуміло яким чином вибирається поріг на коефіцієнти деталізації 1-го рівня декомпозиції (стор. 124).
8. У роботі відсутня порівняльна кількісна оцінка, яка б свідчила про переваги запропонованого у роботі підходу до розпізнавання сигналів від дефектів залізничних рейок.
9. На рис. 5.10 наведено блок-схему, а не алгоритм виявлення сигналів.
10. У списку використаних джерел відсутні посилання на сучасні закордонні статті і конференції по діагностиці залізничних рейок при використанні вейвлет-перетворень та нейромереж.

### **Загальні висновки**

1. Дисертаційна робота Ващишина Любомира Володимировича є завершеною науковою працею, що містить нові науково обґрунтовані результати, важливі для подальшого розвитку магнітодинамічної дефектоскопії залізничних рейок.
2. В дисертаційній роботі представлено розв'язок актуального наукового завдання з виявлення сигналів від дефектів залізничних рейок на початкових стадіях їх зародження та збільшення швидкості опрацювання дефектоскопічних сигналів шляхом автоматизації процесу виявлення дефектів за допомогою вейвлет-перетворень та штучних нейронних мереж.

3. Дисертаційна робота за змістом відповідає спеціальності 05.12.17 – радіотехнічні та телевізійні системи.

4. Матеріали дисертації достатньо апробовані, доповідались на міжнародних і всеукраїнських конференціях, наукових семінарах, а також опубліковані у періодичних наукових виданнях.

5. Автореферат ідентично та з необхідною повнотою відображає зміст і основні положення дисертації. Структура дисертаційної роботи є обґрунтованою.

6. Приведені зауваження не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи.

7. За обсягом, науковим рівнем, практичною значимістю, рівнем апробації та публікаціями дисертаційна робота «Виявлення сигналів дефектів при магнітодинамічній діагностиці залізничних рейок шляхом використання вейвлет-перетворень та нейронних мереж» відповідає вимогам МОН України, зокрема пп. 9, 11, 12 положення про «Порядок присудження наукових ступенів», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України № 567 від 24.07.2013 р. щодо кандидатських дисертацій, а її автор, Ващишин Л.В., заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.12.17 – радіотехнічні та телевізійні системи.

Офіційний опонент  
доктор технічних наук, професор  
завідувача відділу методів та систем  
дистанційного зондування  
Фізико-механічного інституту  
ім. Г.В. Карпенка НАН України

Б.П. Русин



Підпис д.т.н, професора Русина Б.П. засвідчую,

Учений секретар  
Фізико-механічного інституту  
ім. Г.В. Карпенка НАН України



В.В. Корній